Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 655-671

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 671-655

ارزیابی کارایی نیتروژن در طی روند تاریخی اصلاح ارقام مختلف غلات در ایران: 1-گندم (*Triticum aestivum* L.)

لیلا جعفری[1]، علیرضا کوچکی[2*] و مهدی نصیری محلاتی[2]

تاریخ دریافت: 1394/05/26
تاریخ پذیرش: 1394/08/30

جعفری، ل.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. 1398. ارزیابی کارایی نیتروژن در طی روند تاریخی اصلاح ارقام مختلف غلات در ایران: 1-گندم (*Triticum aestivum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی. 11 (2): 671-655.

چکیده

استفاده کارا از نیتروژن در افزایش بهره‌وری و سودمندی نظام‌های زراعی نقش مهمی ایفا کرده است. بهبود کارآیی مصرف نیتروژن به‌عنوان یک راهکار کلیدی در افزایش عملکرد سیستم‌های کشاورزی پایدار از طریق به حداقل رساندن مصرف نهاده‌ها و هدرروی نیتروژن نقش دارد. به‌منظور بررسی ویژگی‌های عملکرد و شاخص‌های کارآیی نیتروژن شامل عملکردهای اقتصادی و بیولوژیک، شاخص برداشت، کارآیی‌های مصرف، جذب و استفاده از نیتروژن، بهره‌وری جزئی نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن در ارقام مختلف گندم (*Triticum aestivum* L.)، پژوهشی در سال زراعی 94-1393 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این مطالعه فاکتور اصلی مقادیر مختلف کود در 12 سطح (نیتروژن از منبع کود اوره 46 درصد: 0، 100، 200 و 300 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار؛ کود دامی: 0، 10، 20 و 30 تن کود دامی در هکتار که به‌ترتیب معادل تقریباً صفر، 100، 200 و 300 کیلوگرم نیتروژن خالص می‌باشد، ترکیب دو نوع کود نیتروژن شیمیایی و دامی به ترتیب به‌نسبت‌های 0:0، 5:50، 10:100، 15:150 کیلوگرم در هکتار : تن در هکتار) و فاکتور فرعی شامل ارقام گندم در 6 سطح (ارقام خیلی قدیمی: روشن و طبسی؛ رقم قدیمی: فلات؛ ارقام جدید: پارسی، سیروان و سپاهان) بود. نتایج این پژوهش نشان داد که صفات مورد مطالعه به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفتند. درحالی‌که اثر برهمکنش نوع رقم با سطوح کودی بر هیچ یک از صفات معنی‌دار نبود. با کاربرد کودهای اوره، دامی و ترکیب آن‌ها، عملکرد دانه، کاه و بیولوژیک به‌طور معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش یافت. بیشترین و کمترین کارآیی مصرف نیتروژن در ارقام سپاهان و سیروان که هر دو از ارقام جدید بوده به ترتیب به میزان 20/84 کیلوگرم بر کیلوگرم و 14/63 کیلوگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. بدون در نظر گرفتن نوع منبع کود بکار رفته، با افزایش میزان نیتروژن مصرفی، شاخص‌های کارآیی نیتروژن به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. اگرچه بین ارقام مختلف ازنظر کارایی استفاده از نیتروژن، شاخص برداشت نیتروژن، عملکرد کاه و بیولوژیک تفاوت معنی‌دار وجود داشت اما بین ارقام قدیم و جدید روندی مشاهده نگردید.

واژه‌های کلیدی: کارایی مصرف نیتروژن، کارایی استفاده از نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، ارقام اصلاح شده قدیم و جدید

مقدمه

افزایش عملکرد محصولات زراعی در طی نیمه دوم قرن گذشته در سراسر جهان علاوه بر معرفی ارقام جدید و پرمحصول، مرهون استفاده از نهاده‌های شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی بوده است (Smile, 1999). به‌طوری‌که سهم کودها در بهبود عملکرد در مطالعات مختلف بین 30 تا 50 درصد گزارش‌شده است (Good et al., 2004). نیتروژن نقش اصلی در تولید محصولات کشاورزی ایفا می‌کند (Barraclough et al., 2010). در شرایطی که نور، آب و دمای مناسب وجود داشته باشد عملکرد ماده خشک و دانه محصولات

1- استادیار گروه باغبانی دانشگاه هرمزگان و دانشجوی سابق دکتری دانشگاه فردوسی مشهد
2- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i2.49170

کشاورزی با میزان فراهمی نیتروژن ارتباط مستقیم دارد. در دهه 1970 میلادی با معرفی ارقام کودپذیر و نیمه پاکوتاه گندم مصرف کود نیتروژن و عملکرد دانه دو برابر شد (Austin, 1999). درواقع بروز پتانسیل ژنتیکی واریته‌های پر محصول گیاهان زراعی در گرو مصرف مقدار کافی نیتروژن است زیرا توسعهٔ کانوپی و جذب مطلوب نور و نیز فتوسنتز و کارآیی مصرف نور به شدت تابع مقدار نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه می‌باشند (Singh, 2005).

تغییر نظام‌های تولید به حالت فشرده[1] و تداوم مصرف نهاده‌های شیمیایی باعث شد که از دهه آخر قرن گذشته نگرانی‌های زیست محیطی در مورد آلودگی‌های ناشی از مصرف این نهاده‌ها افزایش یافته و در دهه اول قرن اخیر به یکی از مهمترین مشکلات نظام‌های رایج تولید تبدیل شود. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 1996) بیان کردند که اتلاف مستقیم کودها زمانی رخ می‌دهد که بیش از نیاز گیاه زراعی، در زمان و به شکل نامناسب به‌کار برده شود. از طرف دیگر، تلفات باعث عدم کارآیی مصرف کود شده و تولید را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) با بررسی جریان نیتروژن و کارایی مصرف آن در چرخه تولید و مصرف گندم و ذرت در ایران نشان دادند که کل نیتروژن برداشت شده توسط دو گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت به ترتیب 387 و 81/7 هزار تن، با کارایی 25 و 60 درصد بود. بیشترین تلفات نیتروژن در سطح مزرعه مربوط به گیاه گندم بود، درحالی‌که در ذرت به‌دلیل کارایی بالاتر جذب نیتروژن، تلفات کمتر از گندم بود.

در کنار این مسئله که عمدتاً بعد محیطی دارد، مطالعات در برخی از نقاط جهان حاکی از آن است که با ادامه مصرف نهاده‌ها واکنش گیاهان زراعی به این مواد شیمیایی در حال کاهش است. به‌عبارت دیگر حتی ارقام پر محصول نیز به ازاء واحد کودهای شیمیایی مصرفی عملکرد کمتری تولید می‌کنند (Giller et al., 2004).

استفاده کارا از نیتروژن در افزایش بهره‌وری و سودمندی نظام‌های زراعی و همچنین کاهش خطرات ناشی از اثرات آلایندگی نیتروژن بر محیط‌زیست نقش مهمی ایفا می‌کند (Dobermann & Cassman, 2004). ارقام جدید و بهبود تولید اقتصادی باعث افزایش مقدار مصرف کودهای شیمیایی و متعاقب آن اثرات نامطلوب زیست محیطی گردید. در سال‌های اخیر چالش پیش روی محققان حفظ یا بهبود بهره‌وری و سودمندی توأم با کاهش مصرف نهاده‌ها است. تلاش به نژادگرهای غلات مبتنی بر بهبود عملکرد دانه در شرایط مصرف زیاد کود و سموم شیمیایی بوده است. اما کارآیی مصرف نیتروژن[2] (NUE) هیچگاه به‌عنوان یک هدف به‌نژادی مدنظر قرار نگرفته است (Barraclough et al., 2010). بنا به تعریف کارآیی مصرف نیتروژن عبارت است از عملکرد محصول زراعی به ازای هر واحد نیتروژن قابل‌دسترس در خاک (Moll et al., 1982). طبق این تعریف NUE از حاصل‌ضرب دو مؤلفه کارآیی جذب نیتروژن[3] (NU_pE) و دیگری کارآیی بهره‌وری (استفاده) نیتروژن[4] (NU_tE) تشکیل می‌شود. کارآیی جذب نیتروژن گویای مقدار نیترون جذب‌شده توسط گیاه به ازاء هر واحد نیتروژن فراهم‌شده در خاک می‌باشد و توانایی گیاه را در جذب نیتروژن قابل‌دسترس در خاک نشان می‌دهد. کارآیی بهره‌وری نیتروژن عبارت است از عملکرد محصول زراعی یا سیستم تناوبی به ازای هر واحد نیتروژن جذب‌شده. به‌عبارت‌دیگر NU_tE توانایی گیاه را در استفاده از نیتروژن جذب‌شده جهت تولید محصول اقتصادی نشان می‌دهد.

نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2015) با ارزیابی روند تغییرات مصرف و بهره‌وری نیتروژن در نظام‌های تولید گندم طی دوره‌ای 40 ساله در ایران بیان کردند که مصرف کودهای نیتروژنی 9/5 برابر افزایش‌یافته، درحالی‌که افزایش عملکرد گندم در این دوره 3/4 برابر بوده است. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که بهره‌وری نیتروژن در تولید گندم با شیبی معادل 0/19- کیلوگرم در هکتار در سال در حال کاهش بوده و کارآیی جذب به حدود 30 درصد نزول یافته است و در مقابل کارآیی استفاده از نیتروژن روندی صعودی داشته است. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد که کاهش کارآیی مصرف نیتروژن در بوم نظام‌های تولید گندم ایران عمدتاً به دلیل کاهش کارآیی جذب این نهاده بوده و افزایش کارآیی تبدیل پایین‌بودن بازیافت نیتروژن را جبران نکرده است.

نتایج برخی تحقیقات حاکی از این است که پتانسیل بالاتر عملکرد ارقام پاکوتاه در مقایسه با ارقام پابلند اغلب از طریق تسهیم ماده خشک بیشتر به دانه (افزایش شاخص برداشت دانه) اتفاق افتاده است و افزایش تولید ماده خشک، جذب نیتروژن و یا فتوسنتز کمتر

1- Intensive

2- Nitrogen use efficiency = NUE
3- Nitrogen uptake efficiency = NUPE
4- Nitrogen utilization efficiency = NUtE

مورد توجه قرار گرفته است (Austin, 1999; Cox et al., 1988; Slafer & Andrade, 1991; Brancourt-Hulmel et al., 2003) از طرف دیگر حداکثر عملکرد گندم در شرایط تأمین نیتروژن زیاد به‌دست می‌آید و ارقام جدید گندم به‌دلیل این‌که تعداد دانه بیشتری در سنبله دارند، در شرایطی که جذب نیتروژن کل و ماده خشک یکسان باشد، در مقایسه با ارقام قدیمی عملکرد دانه بیشتری دارند. این موضوع نشان‌دهندۀ بیشتر بودن کارآیی استفاده نیتروژن دانه در ارقام جدید در مقایسه با ارقام قدیمی است (Fisher & Wall, 1976).

مطالعات مختلف نشان می‌دهند که ارقام گندم از نظر کارآیی مصرف نیتروژن با هم تفاوت دارند. در مطالعه‌ای که توسط ون سانفورد و مک کان (Van Sanford & MacKown, 1986) در آمریکا انجام شد تفاوت معنی‌داری در کارآیی مصرف نیتروژن بین 25 رقم مشاهده شد. در این مطالعه نقش کارآیی جذب نیتروژن در ایجاد این تفاوت‌ها 54 درصد تخمین‌زده شد و برهمکنش ژنوتیپ و محیط نقشی در ایجاد این تفاوت نداشتند. در پژوهشی دو ساله، دوگا و وینز (Dhugga & Waines, 1989)، 12 رقم گندم شامل ارقام جدید و قدیم را در سه سطح نیتروژن موردمطالعه قرار دادند و دریافتند که از نظر کل کارآیی جذب نیتروژن و همچنین کارآیی استفاده نیتروژن دانه بین ارقام تفاوت وجود داشت و کارآیی جذب نیتروژن 62 تا 70 درصد در ایجاد تفاوت کارآیی مصرف نیتروژن نقش داشت. در مکزیک اورنیز-موناستریو و همکاران (Ortiz–Monasterio et al., 1997) در مطالعه‌ای سه ساله، 10 رقم جدید و قدیم گندم را در چهار سطح نیتروژن مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که ارقام پابلند با ارقام پاکوتاه و همچنین بین ارقام پاکوتاه تفاوت ژنتیکی از نقطه‌نظر جذب نیتروژن و کارآیی جذب نیتروژن دانه تفاوت ژنتیکی مشاهده شد.

آگاهی از روند بلندمدت تغییر در بهره‌وری نهاده‌های شیمیایی (به‌ویژه کودها) توسط گیاهان و ارقام زراعی ازجمله گندم برنامه‌ریزان را قادر خواهد ساخت تا با ارائۀ الگوهای نوین ضمن کاهش خطرات و پی‌آمدهای زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه این نهاده‌ها عملکرد محصولات زراعی را در سطح مطلوب حفظ کنند. لذا این پژوهش به منظور بررسی میزان تغییرات کارآیی مصرف، جذب و استفاده نیتروژن در ارقام مختلف گندم در طی فرآیند تاریخی اصلاح این ارقام در ایران و تعیین بهترین سطوح کودی، نوع کود و ترکیب کود دامی و شیمیایی در رابطه با مقدار بهینه کارآیی مصرف نیتروژن از طریق محاسبه انواع شاخص‌های کارآیی نیتروژن انجام‌شده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی روند تغییرات کارآیی مصرف نیتروژن در ارقام مختلف گندم در طی فرآیند اصلاح آن‌ها از گذشته تاکنون، پژوهشی در سال زراعی 94-1393 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش فاکتور اصلی شامل مقادیر مختلف کود در 12 سطح (نیتروژن از منبع کود اوره 46 درصد: 0، 100، 200 و 300 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار؛ کود دامی: 0، 10، 20 و 30 تن در هکتار که به‌ترتیب معادل تقریباً صفر، 100، 200 و 300 کیلوگرم نیتروژن خالص می‌باشد، ترکیب دو نوع کود نیتروژن شیمیایی و دامی به‌ترتیب به‌نسبت‌های 0:0، 5:50، 10:100، 15:150 کیلوگرم در هکتار : تن در هکتار) و فاکتور فرعی شامل ارقام گندم در 6 سطح (ارقام خیلی قدیمی: روشن و طبسی؛ رقم قدیمی: فلات؛ ارقام جدید: پارسی، سیروان و سپاهان) بود.

هر تکرار شامل 72 کرت آزمایشی با ابعاد 2 × 1/5 متر و مساحت 3 متر مربع بود که با در نظرگرفتن یک متر فاصله بین تکرارها مساحت کل مزرعۀ آزمایشی تقریباً 3500 متر مربع در نظر گرفته شد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قبل از کشت، از خاک مزرعه آزمایشی نمونه‌برداری انجام شد. نمونه مرکب که حاصل از ترکیب 5 نمونه از عمق 30 -0 سانتی‌متری خاک بود، در آزمایشگاه گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ارزیابی شد (جدول 1). در این طرح برای تعیین میزان نیتروژن موجود در خاک (نمونه‌برداری قبل از کاشت گیاه و پس از برداشت) و گیاه (نمونه‌برداری گیاه در زمان رسیدگی از دانه و کاه) از دستگاه کجلدال و سپس جهت تعیین مقدار نیتروژن موجود در واحد سطح برحسب (کیلوگرم در هکتار) از حاصل ضرب مقدار نیتروژن موجود در هر نمونه برحسب (گرم در کیلوگرم) و وزن خشک آن نمونه برحسب (تن در هکتار) استفاده شد. از طرف دیگر بر اساس نتایج آزمایشگاهی میزان نیتروژن خالص موجود در کود دامی حدود 1 درصد تعیین شد (جدول 2).

جدول 1- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 1- Soil physicochemical characteristics of experimental location

بافت Texture	کربن آلی Organic Carbon (%)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($d.m^{-1}$)
لومی – شنی Loam clay	0.67	0.079	12.5	108	7.87	1.13

جدول 2- خصوصیات فیزیکوشیمیایی کود دامی مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Chemical characteristics of organic used in the experiment

نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
0.98	620	3175	8.1	6/8

عملیات تهیه بستر کاشت در اواسط آبان 1392 مطابق عرف رایج منطقه انجام شد. یک سوم کود نیتروژن مورد نظر برای هـر کـدام از تیمارهای کودی به هنگام کاشت و یک سوم دیگر در مرحله 5 برگی و باقیمانده در ابتدای مرحله ساقه‌رفتن و قبل از گلدهی به‌کار رفـت. کود دامی نیز به‌صورت قبل از کاشت و مخلوط با خاک استفاده شـد. بذر ارقام مختلف گندم با تراکم تقریبی 200000 بوته در هکتار و بـه صورت دست‌پاش کاشته‌شد. آبیاری کرت‌ها به فاصله زمانی هفت روز و به‌صورت آبیاری تحت فشار انجام شد. مدیریت علف‌های هرز نیز با استفاده از وجین دستی مکرر در طی فصل انجام شد. از هیچ نوع آفت کش در آزمایش استفاده نشد.

صفات مورد ارزیابی شامل عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، شاخص‌های کارآیی مصرف نیتروژن، کارآیی جذب نیتروژن، کارآیی استفاده از نیتروژن، بهره‌وری جزئی نیتروژن، سـهم نیتروژن کودی در افزایش عملکرد و شاخص برداشت نیتروژن بود.

در اواسط خرداد سال 1393 جهت محاسبهٔ عملکـرد اقتصـادی و بیولوژیک و شاخص برداشت به‌صورت کف بر کل بوته‌های گندم هر کرت برداشت شد. کارآیی مصرف نیتروژن (NUE کیلوگرم دانه بـه ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف‌شده) با استفاده از معادلـهٔ 1 (Moll et al., 1982) محاسبه گردید:

$$NUE = \frac{GY_{fertilized} - GY_{unfertilized}}{N_f} \quad \text{(1)}$$

کـه در آن، $GY_{fertilized}$ عملکـرد دانـه بـا مصـرف نیتـروژن، $GY_{unfertilized}$ عملکرد دانه بدون مصرف نیتـروژن و N_f میـزان کـود مصرفی می‌باشند.

کارآیی بازیافت نیتروژن یا جذب (*NUpE*، درصد) از معادله 2 به دست آمد (Moll et al., 1982):

$$NUpE = \frac{N_u}{N_f} \times 100 \quad \text{(2)}$$

که در آن N_u نیتروژن جذب‌شده توسط گیـاه در قسـمت هـوایی (کیلوگرم در هکتار) و N_f مقدار نیتروژن کودی مصرف‌شده (کیلـوگرم در هکتار) می‌باشند.

کارآیی استفاده از نیتروژن (*NUtE*، کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده) که به کارآیی تبدیل نیتروژن نیز موسوم اسـت از معادله 3 محاسبه شد (Moll et al., 1982):

$$NUtE = \frac{GY_{fertilized} - GY_{unfertilized}}{N_u} \quad \text{(3)}$$

بهره‌وری جزئی نیتروژن[1] (*NPFP*) که نسبت عملکـرد دانـه بـه میزان نیتروژن کودی مصرف‌شده است (کاسمن و همکاران، 2002) با استفاده از معادله 4 محاسبه شد:

$$NPFP = \frac{GY}{N_f} \quad \text{(4)}$$

شـاخص برداشـت نیتـروژن[2] (*NHI*) کـه در حقیقـت نسـبتی از نیتروژن موجود در اندام هوایی است که به دانه‌ها منتقل‌شده است بـه کمک معادله 5 محاسبه گردید:

$$NHI = \frac{Ng}{Nu} \times 100 \quad \text{(5)}$$

که در آن N_g میزان نیتروژن جذب‌شده دانه و N_u نیتروژن جذب شده توسط گیاه در قسمت هوایی می‌باشند.

1- Partial Nitrogen Productivity
2- Nitrogen Harvest Index

جدول 3- تجزیه واریانس اثر ارقام و سطوح مختلف کودی بر عملکرد و شاخص های برداشت گندم

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) the effect of different varieties and fertilizers levels on yield and harvest indices of wheat

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه Straw yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	316904.9 ns	10077454 ns	16823671 ns	89.93 ns
ارقام گندم Wheat cultivar	5	**4705064.1	9202402 *	14893061 *	**232.71
سطوح کودی Fertilizer Levels	11	**41307186.4	**139186508	**329648335	55.97 ns
ارقام گندم × سطوح کودی Wheat cultivar × Fertilizer Levels	55	475452.7 ns	1516100 ns	1586078 ns	37.11 ns
اشتباه Error	142	376845.3	3824329	4808594	40.48
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		17.42	30.07	22.87	17.89
R		0.91	0.76	0.85	0.45

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: are significant at p≤ 0.01 and p≤0.05 and no significant, respectively.

جدول 4- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ارقام گندم و سطوح مختلف کودی بر شاخص‌های کارایی گندم

Table 4- Analysis of variance (means of squares) the effect of different varieties and fertilizers levels on efficiency indices of wheat

منابع تغیرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		کارایی مصرف نیتروژن NUE	کارایی جذب نیتروژن NUpE	کارایی استفاده از نیتروژن NUtE	بهره وری جزئی نیتروژن NPFP	شاخص برداشت نیتروژن NHI
تکرار Replication	2	19.52 ns	183.67 ns	29.79 ns	33.08 ns	79.51 ns
ارقام گندم Wheat cultivar	5	152.4 **	660.33 *	159.25 *	195.83 **	311.61 **
سطوح کودی Fertilizer Levels	8	383.99 **	2171.12 **	1148.71 **	1234.54 **	187.04 ** (df: 11)
ارقام گندم × سطوح کودی Wheat cultivar × Fertilizer Levels	40	12.88 ns	117.6 ns	47.13 ns	13.27 ns	52.75 ns (df: 55)
اشتباه Error	106	17.39	239.79	51.68	20.37	51.92 (df: 142)
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		22.83	26.81	20.79	16.16	12.5
R		0.72	0.53	0.42	0.85	0.5

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: are significant at p≤ 0.01 and p≤0.05 and no significant, respectively.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش از نرم‌افزار[1] SAS نسخه 9/2 استفاده شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت. جهت برازش معادلات مربوطه نیز از نرم‌افزار Sigmaplot استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات ارزیابی شده در جداول 3 و 4 ذکر شده است. با توجه به این نتایج، ملاحظه می‌گردد که عملکرد ارقام گندم بر شاخص برداشت، کارآیی مصرف نیتروژن (NUE) و شاخص برداشت نیتروژن (NHI) در سطح آماری پنج درصد و بر سایر صفات ارزیابی‌شده در سطح یک درصد معنی‌دار بود. شاخص برداشت گندم تحت تأثیر سطوح مختلف کودی قرار نگرفت در حالی‌که سایر صفات به‌طور معنی‌دار در سطح آماری یک درصد تحت تأثیر قرار گرفتند. اثر برهمکنش رقم گندم با سطوح کودی بر هیچ یک از صفات ارزیابی شده معنی‌دار نبود (جدول 3 و 4).

عملکرد ارقام مختلف گندم

مقایسه عملکرد دانه، کاه، بیولوژیک و شاخص برداشت بین ارقام مختلف گندم در جدول 5 نشان داده شده است. به‌طورکلی به جز رقم سیروان که به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه کمتری داشت، تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دانه سایر ارقام مشاهده نشد. بیشترین (3786/2 کیلوگرم در هکتار) و کمترین (2825 کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه به‌ترتیب در ارقام فلات (از ارقام قدیمی) و سیروان (از ارقام جدید) مشاهده شد (جدول 5). همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مقادیر عملکرد دانه و بیولوژیک کمتر از مقادیر مورد انتظار است این کاهش به‌دلیل تنک بودن کرت‌ها در نتیجه یخبندان ناگهانی در هنگام سبز شدن دانه‌ها بود.

بیشترین عملکرد کاه در رقم طبسی (خیلی قدیمی) و به‌میزان 7299/6 کیلوگرم در هکتار ملاحظه شد. ارقام روشن و سپاهان نیز دارای عملکرد کاه بالایی بودند که با رقم طبسی تفاوت معنی‌داری نداشتند. کمترین عملکرد کاه در رقم فلات (قدیمی) و به‌میزان 6058/1 کیلوگرم درهکتار به‌دست آمد که با سایر ارقام به جز طبسی تفاوت معنی‌داری نداشت. روند تغییرات عملکرد بیولوژیک تقریباً مشابه با عملکرد دانه بود به‌طوری‌که کمترین عملکرد بیولوژیک در رقم سیروان مشاهده شد. از آن‌جا که شاخص برداشت بیانگر نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک است بنابراین ارقامی که عملکرد دانه کمتری به ازای عملکرد بیولوژیک تولید کردند، این صفت در آن‌ها کمتر بود. به‌طوری که کمترین شاخص برداشت در دو رقم طبسی و سیروان به‌دست آمد. عملکرد دانه پایین در رقم طبسی و تولید بیوماس بیشتر و اختصاص آسیمیلات کمتر به دانه در رقم طبسی موجب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت در این رقم گردید. از طرف دیگر عملکرد بالای دانه به ازای زیست تودهٔ تولیدی در رقم فلات موجب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت در مقایسه با ارقام روشن، طبسی و سیروان گردید. به‌نظر می‌رسد واکنش به تاریخ کاشت موجب ایجاد تفاوت در ویژگی‌های عملکردی ارقام گردید. در این مطالعه به‌دلیل تأخیر در کاشت گندم ارقامی که جهت جوانه‌زنی به درجه – روز رشد بیشتری جهت تکمیل مراحل رشدی خود نیاز داشتند (ارقام مناطق معتدل) دیرتر جوانه‌زده و با توجه به عدم تأمین نیاز حرارتی جهت گلدهی، بیشتر در مرحله رویشی باقی مانده و دیرتر به مرحلهٔ گلدهی رسیده‌اند. این موضوع موجب کاهش عملکرد دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت در این ارقام گردید. به‌عنوان مثال رقم سیروان که جهت کشت در مناطق معتدله مناسب می‌باشد (Najafian et al., 2012) به دلیل تأخیر در تاریخ کاشت، جهت تکمیل مراحل رشدی خود درجه – روز رشد کافی دریافت نکرده و جوانه‌زنی آن با تأخیر انجام شد که این موضوع ازطریق کاهش دوره رویشی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و کاهش شاخص برداشت این رقم در مقایسه با سایر ارقام گردید (جدول 5). همچنین این رقم در اثر کاهش رشد رویشی، تولید اسیمیلات کمتر و در نتیجه کاهش عملکرد دانه، به‌طور معنی‌دار در مقایسه با سایر ارقام شاخص برداشت کمتری داشت.

اثر سطوح و نوع کود بر عملکردگندم

نتایج جدول 5 نشان داد که با کاربرد کودهای اوره، دامی و ترکیب آن‌ها، عملکرد دانه، کاه و بیولوژیک به‌طور معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش یافت. به جز شاخص برداشت، بیشترین و کمترین میانگین صفات عملکرد به ترتیب در تیمارهای کاربرد 300 کیلوگرم کود نیتروژن و شاهد (بدون کاربرد کود) مشاهده شد.

1 -Statistical Analysis System 9.2

جدول 5- مقایسه میانگین اثر ارقام و سطوح مختلف کود بر عملکرد و شاخص برداشت گندم

Table 5- Means comparison of the effect of different varieties and fertilizer levels on yield and harvest index of wheat

تیمارهای آزمایش Treatments	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار) Straw yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
ارقام گندم **Wheat cultivar**				
روشن Roshan	3731.5 ^{a*}	6876.4 ^{ab}	10607.9 ^{a}	34.99 ^{bc}
سپاهان Sepahan	3720.6 ^{a}	6427.8 ^{ab}	10148.4 ^{ab}	36.76 ^{ab}
فلات Falat	3786.2 ^{a}	6058.1 ^{b}	9844.3 ^{ab}	38.62 ^{a}
طبسی Tabasi	3490.7 ^{a}	7299.6 ^{a}	10790.3 ^{a}	32.55 ^{c}
پارسی Parsi	3492.2 ^{a}	6108.4 ^{b}	9700.6 ^{ab}	37.58 ^{ab}
سیروان Sirvan	2825 ^{b}	6269.3 ^{b}	9094.3 ^{b}	32.82 ^{c}
سطوح کودی **Fertilizer levels**				
N_0	1334.9 ^{e}	2700.7 ^{f}	4035.6 ^{e}	33.88 ^{b}
N_1	3805.2 ^{cd}	7110.6 ^{cde}	10915.8 ^{cd}	34.89 ^{ab}
N_2	4770.6 ^{b}	8270.6 ^{bc}	13041.2 ^{b}	36.89 ^{ab}
N_3	5767.3 ^{a}	11825.3 ^{a}	17592.5 ^{a}	33.52 ^{b}
M_0	1246.7 ^{e}	2547 ^{f}	3793.7 ^{e}	34.15 ^{b}
M_1	3430.1 ^{d}	5961.2 ^{e}	9391.3 ^{d}	37.89 ^{ab}
M_2	3689.3 ^{cd}	6767.8 ^{de}	10457.1 ^{cd}	35.81 ^{ab}
M_3	4787.4 ^{b}	7984.6 ^{bcd}	12772 ^{b}	39.26 ^{a}
M_0N_0	1231.2 ^{e}	2497.8 ^{f}	3729 ^{e}	33.76 ^{b}
M_1N_1	3497.2 ^{d}	6598.6 ^{de}	10098.5 ^{cd}	35.01 ^{ab}
M_2N_2	3997.9 ^{c}	7186.2 ^{bcde}	11184.1 ^{c}	36.01 ^{ab}
M_3N_3	^{b} 4733.4	8579 ^{b}	13312.4 ^{b}	35.78 ^{ab}

*درهرستون و برای هر جزء میانگین های دارای حروف مشترک، براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند

** N_0، N_1، N_2 و N_3: به ترتیب 0، 100، 200 و 300 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به فرم اوره. M_0، M_1، M_2 و M_3: به ترتیب 0، 10، 20 و 30 تن کود دامی در هکتار.

M_0N_0، M_1N_1، M_2N_2 و M_3N_3: به ترتیب 0:0، 5:50، 10:100 و 15:150 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به فرم اوره به تن کود دامی در هکتار

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level

کاربرد انواع کودها در سطوح پایین تأثیر معنی‌داری بـر عملکـرد دانه نداشت ولی در سطوح بالاتر، تیمار نیتروژن شیمیایی تفاوت معنی داری با تیمار کود دامی و تلفیق دامی و شیمیایی داشت (جدول5). با افزایش میزان نیتروژن، عملکرد کاه به‌طور معنی‌دار افزایش یافت اما این افزایش در حضور نیتـروژن شـیمیایی، از سـایر کودهـا (دامـی و تلفیقی) بیشتر بود. کاربرد کـود (شـیمیایی، دامـی و تلفیقـی) باعـث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در مقایسه با تیمار شاهد گردید اما تأثیر کاربرد کود نیتروژن شیمیایی در این افزایش بیشتر بود به‌طوری که بالاترین سطح کود نیتروژن منجر بـه افـزایش 335/9 درصـدی عملکرد بیولوژیک گردید درحالی‌که این میزان افزایش برای کودهای دامی و تلفیقی به‌ترتیب 236/7 و 257/0 درصد بود. از طـرف دیگـر بررسی روند تغییرات شاخص برداشت نشـان داد کـه ایـن صـفت در مقایسه با سایر صفات کمتر تحت تأثیر نوع و میزان کود قرار گرفت. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) درنتـایج فراتحلیـل

پژوهش‌های مربوط به مصرف کود نیتروژن در تولید غلات ایران نشان دادند که در هر سه محصول تحت بررسی (گندم، برنج و ذرت) تأثیر کودهای نیتروژنه بر افزایش عملکرد دانه و ماده خشک معنی‌دار بوده در حالی که بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود.

اثر ارقام مختلف گندم بر مؤلفه‌های کارآیی نیتروژن کارآیی مصرف نیتروژن (NUE)

اثر نوع رقم بر تغییر مؤلفه‌های کارآیی نیتروژن گندم در جدول 6 نشان داده شده است. بیشترین و کمترین کارآیی مصرف نیتروژن در ارقام سپاهان و سیروان که هر دو از ارقام جدید بوده به‌ترتیب به میزان 20/84 کیلوگرم بر کیلوگرم و 14/63 کیلوگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. رقم سیروان به‌طور معنی‌داری کارآیی مصرف نیتروژن پایین‌تری در مقایسه با سایر ارقام داشت در حالی‌که بین سایر ارقام تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کارآیی مصرف نیتروژن بیانگر مقدار زیست توده اندام هوایی یا عملکرد دانه تولید شده در واحد نیتروژن قابل دسترس می‌باشد (Moll et al., 1982). از آن‌جا که رقم سیروان به عنوان یک رقم نسبتاً دیررس پتانسیل بالایی از نظر تولید پنجه و دانهٔ فراوان دارد (Najafian et al., 2012) و از طرفی شرایط مناسب رشد برای این رقم به دلیل عدم تأمین نیاز حرارتی مورد نیاز فراهم نشده است، این امر منجر به کاهش تولید مواد آسمیلات به ازای نیتروژن در دسترس‌شده است که درنتیجه باعث تولید دانه‌های کوچک و چروکیده همراه با کاهش عملکرد در این رقم شد. بنابراین کارآیی مصرف نیتروژن این رقم به‌طور معنی‌دار کمتر از سایر ارقام گردید (جدول 6). همچنین با توجه به فرمول کارایی مصرف نیتروژن، عملکرد دانه رقم سیروان در تیمار شاهد و تیمارهای کودی اختلاف کمتری نسبت به سایر ارقام داشته و این رقم با کارایی کمتری از نیتروژن مصرفی استفاده کرده است. در بین سایر ارقام از نظر کارآیی مصرف نیتروژن تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. علیرغم این‌که رقم طبسی (رقم خیلی قدیمی) به‌طور معنی‌دار دارای عملکرد بیولوژیک بیشتری در مقایسه با سایر ارقام است (جدول 5) دارای کارآیی مصرف نیتروژن پایینی بود. درحالی‌که ارقامی که توانستند زیست توده بیشتر و در نتیجه عملکرد دانه بیشتری تولید کنند، کارآیی مصرف نیتروژن بیشتری داشتند. در این مطالعه رقم سپاهان به دلیل زودرس‌بودن (Ghandi et al., 2009) گلدهی آن در مقایسه با سایر ارقام زودتر انجام گرفت و درنتیجه به‌دلیل دورهٔ پرشدن دانهٔ بیشتر، عملکرد دانه و در نتیجه کارآیی مصرف نیتروژن افزایش یافت. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که روند تاریخی اصلاح ارقام گندم در ایران طی 60 سال گذشته تأثیری بر کارایی مصرف نیتروژن نداشته و همچنین بیانگر این مطلب است این کارایی با شیب 0/02 در سال در حال کاهش است (شکل 1).

بدون در نظر گرفتن نوع منبع کود به‌کار رفته، با افزایش میزان نیتروژن مصرفی، کارآیی مصرف نیتروژن به‌طور معنی‌دار کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین کارآیی مصرف در تیمار 100 کیلوگرم نیتروژن به‌دست آمد (جدول 6). در مقادیر 200 و 300 کیلوگرم نیتروژن، تلفیق (کاربرد همزمان) کودهای نیتروژن شیمیایی با دامی، کارایی مصرف نیتروژن در مقایسه با کاربرد جداگانه این کودها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. از طرف دیگر در تیمار 200 کیلوگرم نیتروژن، کارآیی مصرف نیتروژن در حضور کود اوره بیشتر از کود دامی بود. اما در مقادیر بیشتر از 200 کیلوگرم نیتروژن، کارآیی مصرف نیتروژن کاهش معنی‌داری نشان نداد. به‌نظر می‌رسد که تمامی نیتروژن موجود در کود دامی در طول فصل رشد گندم آزاد نشده و یا این‌که آزاد سازی نیتروژن با حداکثر نیاز گیاه به نیتروژن همزمان نبوده است. کود اوره در سه مرحله و همزمان با نیاز گیاه مصرف‌شده، لذا کارایی مصرف بالاتری نسبت به کود دامی داشته است. نتایج نشان داد که به ازای افزایش هر کیلوگرم کود مصرفی، کارایی مصرف با شیب 0/053 در سال کاهش یافته است (شکل 1). نتایج برخی آزمایش‌ها در مورد غلات پاییزه مؤید این مطلب است که تعدیل در کاربرد مقادیر کود شیمیایی نیتروژن و یا تقسیط آن استراتژی‌های مناسبی برای افزایش کارایی مصرف نیتروژن هستند. کارایی پایین کود شیمیایی به دلیل کاربرد مقادیر بالای کود شیمیایی است، خصوصاً زمانی که نیتروژن معدنی موجود در خاک قبل از کشت و یا نیتروژن معدنی‌شده در طول فصل رشد نادیده گرفته شود (Lopez-Bellido et al., 2005; Arregui & Quemada, 2000).

کارآیی استفاده از نیتروژن (NUtE)

کارآیی استفاده نیتروژن (NUtE) بیانگر عملکرد دانه به ازای مقدار نیتروژن جذب‌شده است که به کارآیی فیزیولوژیکی نیتروژن یا کارایی تبدیل نیز موسوم می‌باشد (Moll et al., 1982). این شاخص در واقع توانایی گیاه در استفاده از نیتروژن موجود در اندام‌های مختلف برای تولید دانه را نشان می‌دهد.

به‌عقیده مونتمورو و همکـاران (Montemuro et al., 2006) دو عامل اساسی در افزایش کارآیی بکارگیری نیتروژن عبـارت اسـت از جذب نیتروژن کافی از خاک تا قبل از گلدهی گیاه و همچنین جـذب نیتروژن در طی مراحل انتهایی رشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پیشرفت‌های ژنتیکی انجـام شـده طـی 60 سـال گذشـته در جهـت افزایش عملکرد گندم در ایران، نه تنها با افزایش کـارآیی اسـتفاده از نیتروژن همراه نبوده بلکه شیب تغییرات آن در ارقام جدید به‌صـورت نزولی بوده است (شکل2). نوع رقم بر کـارآیی اسـتفاده نیتـروژن در مقایسه با کارآیی مصرف نیتروژن تـأثیر معنـی‌دار بیشـتری داشـت. به‌طوری‌که بیشترین(36/7) و کمترین (31/1) میزان کارآیی اسـتفاده به‌ترتیب در ارقام سپاهان و سیروان به‌دست آمد (جدول 6).

جدول 6- مقایسه میانگین اثر ارقام و سطوح مختلف کود بر شاخص های کارایی گندم

Table 6- Means comparison of the effect of different cultivar and fertilizer levels on efficiency indices of wheat

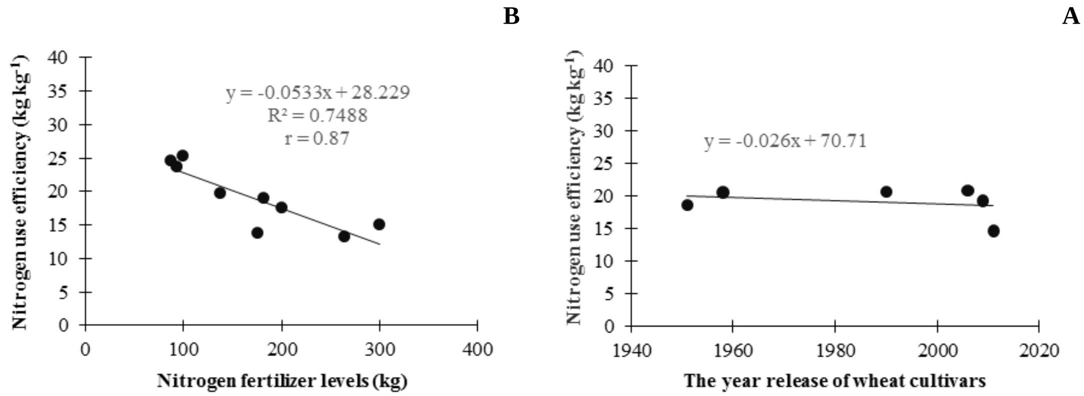
تیمارهای آزمایش **Treatments**	کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم) **NUE (kg.kg^{-1})**	کارایی استفاده از نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم) **NUtE (kg.kg^{-1})**	بهره‌وری جزئی نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم) **PFP (kg.kg^{-1})**	کارایی جذب نیتروژن (درصد) **NUpE (%)**	شاخص برداشت (درصد) **NHI (%)**
ارقام گندم Wheat cultivar					
روشن Roshan	20.59 a*	36.35 ab	29.58 a	61.88 a	55.69 bc
سپاهان Sepahan	20.84 a	36.7 a	29.33 a	58.29 a	59.42 a
فلات Falat	20.66 a	36.58 ab	29.81 a	59.54 a	59.08 ab
طبسی Tabasi	18.62 a	32.38 bc	27.95 a	61.27 a	53.0 c
پارسی Parsi	19.23 a	34.3 abc	28.25 a	57.21 a	59.1 ab
سیروان Sirvan	14.63 b	31.1 c	22.7 b	48.63 b	53.79 c
سطوح کودی Fertilizer levels					
N_0	-	52.58 e	-	-	-
N_1	25.34 a	54.14 cde	71.27 a	38.05 a	36.68 ab
N_2	17.49bc	57.81 bcde	54.28 c	23.85 cd	33.21 bc
N_3	15 cd	55.68 bcde	51.38 cd	19.22 e	30.45 c
M_0	-	53.52 cde	-	-	-
M_1	24.54 a	58.25 bcd	69.81 ab	38.98 a	39.55 a
M_2	13.74 d	59.02 abc	42.41 d	20.96 de	34.51 abc
M_3	13.32 d	63.24 a	42.3 d	18.13 e	32.86 bc
M_0N_0	-	52.95 de	-	-	-
M_1N_1	23.68 a	55.81 bcde	67.48 ab	37.2 a	37.1 ab
M_2N_2	19.76 b	57.9 bcde	59.0 bc	28.97 b	35.1 abc
M_3N_3	19.02 b	60.19 ab	61.92 abc	26.0 bc	31.72 bc

*درهرستون و برای هر جزء میانگین های دارای حروف مشترک، براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

** N_0، N_1، N_2 و N_3: به ترتیب 0، 100، 200 و 300 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به فرم اوره. M_0، M_1، M_2 و M_3: به ترتیب 0، 10، 20 و 30 تن کود دامی در هکتار.

M_0N_0، M_1N_1، M_2N_2 و M_3N_3: به ترتیب 0:0، 5:50، 10:100 و 15:150 کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به فرم اوره به تن کود دامی در هکتار

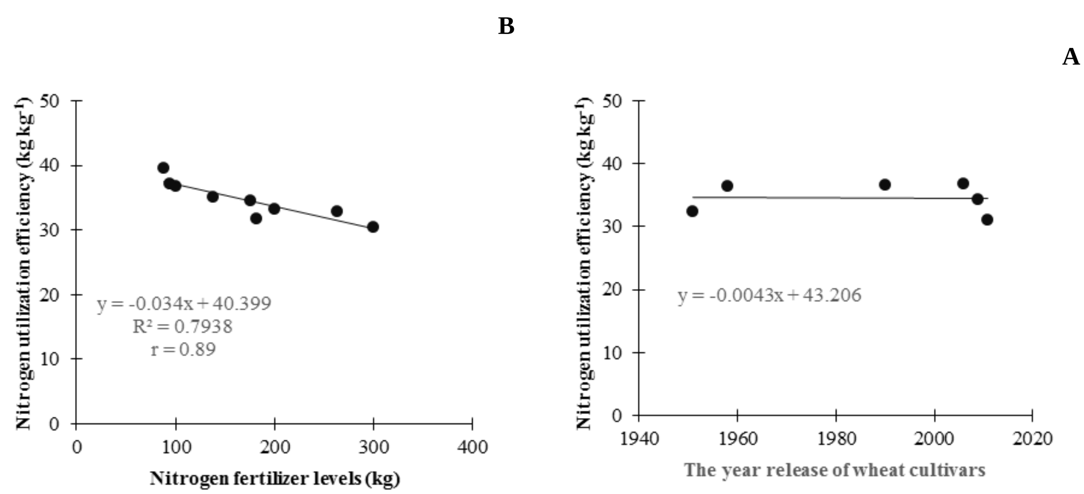
* Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on Duncan’s test at 5% probability level



شکل 1- روند کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر سال آزاد سازی ارقام گندم (الف) و سطوح کودی نیتروژن (ب)

Fig. 1- Nitrogen use efficiency trends as affected by year release of wheat cultivars (A) and nitrogen fertilizer levels (B)

بیشترین کارآیی استفاده از نیتروژن در پایین‌ترین سطح کاربرد هر یک از انواع کودها (شیمیایی، دامی و تلفیقی) به‌دست آمد. با افزایش میزان کود، کارایی استفاده کاهش یافته که این روند تا سطح دوم هر یک از کودها معنی‌دار نبود ولی کاربرد بیشترین مقدار کود باعث کاهش معنی‌دار این شاخص در مقایسه با سطح اول کودی شد (جدول 6). از آن‌جا که کارایی استفاده از نیتروژن ارتباطی با مدیریت مصرف کود نداشته و یک ویژگی ژنتیکی است، لذا بین منبع کود مصرفی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. برای مثال از نظر این شاخص بین تیمارهای 200 کیلوگرم اوره مصرفی و معادل آن کود دامی (20 تن کود دامی) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. براساس مطالعه نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2015) کارآیی استفاده از نیتروژن در نظام‌های تولید گندم ایران در طی چهار دهه گذشته سالانه به میزان 0/17 کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده افزایش یافته است. مشابه نتایج تحقیق حاضر، باراکلاف و همکاران (Barraclough et al., 2010) نشان دادند که کارایی استفاده از نیتروژن بین ارقام جدید و قدیم متفاوت بوده و این تفاوت معنی‌دار بین ارقام جدید نیز مشاهده شد.



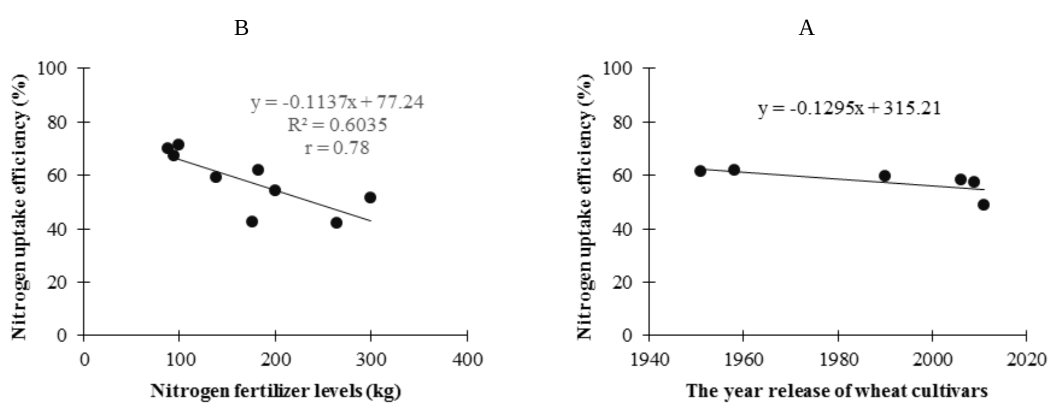
شکل 2- روند کارایی استفاده نیتروژن تحت تأثیر سال آزاد سازی ارقام گندم (الف) و سطوح کودی نیتروژن (ب)

Fig. 2- Nitrogen utilization efficiency trends as affected by year release of wheat cultivars (A) and nitrogen fertilizer levels (B)

کارآیی جذب (NUpE)

نتایج تحقیق حاضر نشان داد کـه بیشـترین کـارآیی جـذب یـا بازیافت نیتروژن که نشان‌دهنده مقدار جذب نیتروژن توسط گیاه بـه ازای مقدار نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) مـی‌باشـد، در ارقـام قدیمی روشن و طبسی بود (به‌ترتیب 61/8 و 61/3 درصد). کمتـرین مقدار آن (48/6 درصد) مربوط به رقم جدید سیروان بود. روند تغییرات کارآیی جذب نیتروزن در ارقام مختلـف مشـابه بـا کـارآیی مصـرف نیتروژن بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داده است که کـارایی جـذب نیتروژن در طی روند اصلاح ارقام گندم با شـیب 0/129 در سـال در حال کاهش بود. میانگین کارآیی جذب نیتروژن در جهان در طی دهه های گذشته کاهش یافته است، ایکهورت و همکاران (Eickhout et al., 2006) بیان داشـتند کـه کـارآیی جـذب کـل منـابع نیتروژنـی (کودهای شیمیایی و آلی) در فاصله سال‌های 1970 تا 1995 میلادی درجهان از 46 به 42 درصد، در خاورمیانه از 54 بـه 47 درصـد و در کشـورهای در حـال توسـعه از 53 بـه 43 درصـد رسـیده اسـت. در انگلستان کارآیی جذب نیتروژن برای گندم زمستانه 65 درصد می‌باشد (Sylvester-Bradley & Kindred, 2009)، سالواگیوتی و همکاران (Salvagiotti et al., 2009) نیز کارآیی بازیافـت نیتـروژن در بـوم نظام‌های گندم آرژانتین را 42 درصد گزارش کردنـد. بهبـود کـارآیی جذب در ارقـام جدیـد جـو در آرژانتـین (Abeledo et al., 2008) و اسکاتلند (Sylvester-Bradley & Kindred, 2009) گزارش شـده ولی در ارقام جدید گندم شـمال اروپـا (Muurinen et al., 2006) و نیـز در کانـادا (Bulman et al., 1993) مشـاهده نشـده اسـت. در مطالعه‌ای ارقام معرفی‌شده بین سال‌های 1958 تا 2007 مـیلادی در استرالیا از نظر روند تغییرات جذب نیتروژن و کارایی اسـتفاده از آب و نیتروژن به‌منظور تولید عملکرد بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که با اصلاح ارقام گندم ظرفیت جذب نیتروژن در آن‌ها افزایش‌یافته است، ولی الزاماً عملکرد به ازای نیتروژن جـذب‌شـده افـزایش‌نیافتـه است (Sadras & Lawson, 2013).

با افزایش کود مصرفی کارایی جذب نیتروژن به‌طـور معنـی‌داری کاهش پیدا کرد. در هر یک از سطوح مصرفی کود، کارایی جذب کود اوره نسبت به کود دامی بـالاتر بـود، اگرچـه در سـطوح 100 و 300 کیلوگرم این اختلاف معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد دلیل این اختلاف، عدم آزاد سازی کامل نیتروژن موجود در کود دامـی طـی دوره رشـد گندم می‌باشد.



شکل 3- روند کارایی جذب نیتروژن تحت تأثیر سال آزاد سازی ارقام گندم (الف) و سطوح کودی نیتروژن (ب)

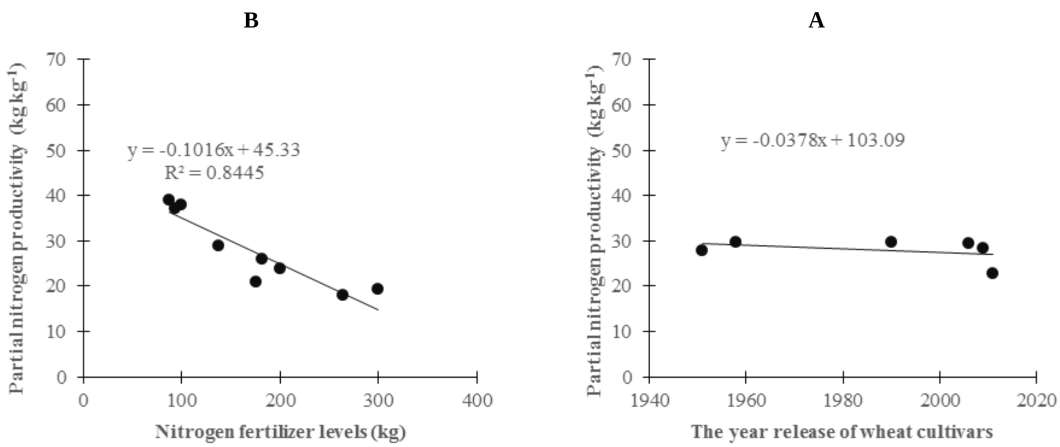
Fig. 3- Nitrogen uptake efficiency trends as affected by year release of wheat cultivars (A) and nitrogen fertilizer levels (B)

بهره‌وری جزئی نیتروژن (NPFP)

بهره‌وری جزئی نیتروژن که نشان‌دهنده میزان عملکرد بـه ازای مقدار نیتروژن مصرف‌شده می‌باشد، در ارقام قـدیم نسـبت بـه ارقـام جدید تفاوت معنی‌داری نداشت. با این حال بهره‌وری جزئـی در رقـم جدید سیروان نسبت به سـایر ارقـام کـاهش معنـی‌داری نشـان داد. برخلاف ایـن نتـایج در مطالعـه‌ای کـه توسـط ژنلینـگ و همکـاران (Zhenling et al., 2009) بر روی ذرت انجام شد، در شرایط یکسان کاربرد کود نیتروژن، میزان بهره‌وری جزئی نیتـروژن در رقـم جدیـد

به‌طور معنی‌دار در مقایسه با رقم قدیمی بیشتر بود.

بهره‌وری جزئی نیتروژن برحسب میزان مصرف نیتروژن کودی روندی کاهشی داشته است (شکل4). شیب خط رگرسیون (0/10-) نشان می‌دهد که با افزایش هر یک کیلوگرم نیتروژن مصرفی بهره‌وری این نهاده در تولید گندم به میزان 0/10 کیلوگرم کاهش می‌یابد بنابراین با افزایش مصرف نیتروژن بهره‌وری جزئی آن از 39 به 19 کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن تقلیل یافته است. به نظر می‌رسد افزایش نیتروژن مصرفی نقش مهمی در کاهش بهره وری جزئی این نهاده داشته باشد.



شکل 4- روند بهره وری جزئی نیتروژن تحت تأثیر سال آزاد سازی ارقام گندم (الف) و سطوح کودی نیتروژن (ب)

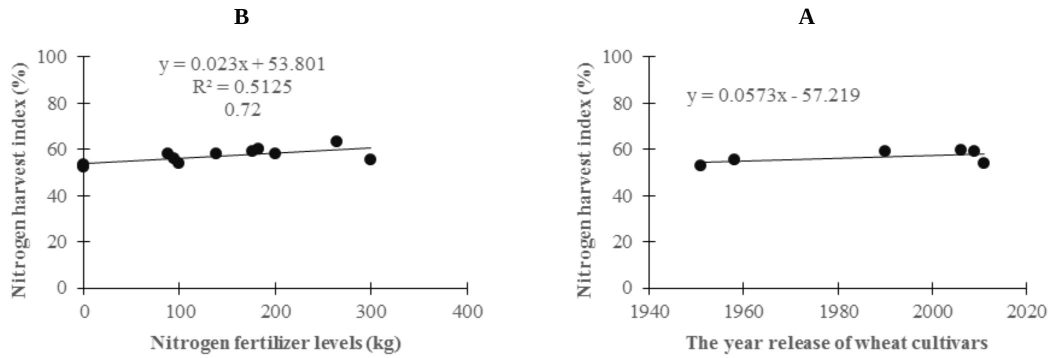
Fig. 4- Partial Nitrogen Productivity trends as affected by year release of wheat cultivars (A) and nitrogen fertilizer levels (B)

شاخص برداشت نیتروژن

شاخص برداشت نیتروژن (NHI) عبارت از نسبت نیتروژن دانه (نیتروژن ذخیره‌شده در محصول اقتصادی) به کل نیتروژن جذب‌شده در گیاه است. در واقع این شاخص نمایانگر میزان پروتئین دانه (محصول) است و بنابراین کیفیت تغذیه‌ای دانه را بیان می‌کند (Hirel et al., 2007). نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که میزان شاخص برداشت در طی روند آزاد سازی ارقام گندم تفاوت معنی‌داری داشته است. در بررسی شش رقم آزاد شده مشاهده شد که شاخص برداشت نیتروژن جدیدترین ارقام گندم به جز رقم سیروان نسبت به ارقام خیلی قدیمی (طبسی و روشن) که در سال های 1951 و 1958 میلادی معرفی شده‌اند، 9/11 درصد افزایش داشته است. برخلاف این نتایج صوفی‌زاده و همکاران (Sofizade, et al., 2006) در بررسی شش رقم گندم بیان داشتند ارقام جدید در مقایسه با ارقام قدیم از نظر کارآیی مصرف نیتروژن برتر بودند، ولی ارقام مختلف هیچ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر از نظر کارآیی جذب و استفاده از نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن نشان ندادند. با افزایش سطوح کودی، شاخص برداشت با شیب 0/023 افزایش معنی‌داری داشت به‌گونه‌ای که در تیمار 30 تن کود دامی در هکتار بیشترین شاخص برداشت نیتروژن و در شاهد کمترین شاخص برداشت نیتروژن مشاهده شد (شکل 5).

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به جز رقم سیروان که به طور معنی‌داری عملکرد دانه، کارایی مصرف نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن و بهره‌وری جزئی کمتری داشت، تفاوت معنی‌داری بین سایر ارقام مشاهده نشد. اگرچه بین ارقام مختلف از نظر کارایی استفاده از نیتروژن، شاخص برداشت نیتروژن، عملکرد کاه و بیولوژیک تفاوت معنی‌دار وجود داشت، اما بین ارقام قدیم و جدید روندی مشاهده نگردید. با افزایش مقادیر کود از سطح 100 به 200 کیلوگرم در هکتار کارایی مصرف و کارایی جذب نیتروژن بدون در نظرگرفتن منبع کود،کاهش معنی‌داری را نشان داد و با افزایش مقدار کود این روند ثابت ماند.



شکل 5- روند شاخص برداشت نیتروژن تحت تأثیر سال آزاد سازی ارقام گندم (الف) و سطوح کودی نیتروژن (ب)

Fig. 5- Nitrogen harvest index trends as affected by year release of wheat cultivars (A) and nitrogen fertilizer levels (B)

که خصوصاً این کاهش در مصرف کود شیمیایی بیشتر معنی‌دار بود. کارایی استفاده از نیتروژن و بهره‌وری جزئی با افزایش کاربرد کود از سطح اول به سوم تفاوت معنی‌داری داشت. با ارزیابی همبستگی صفات مشخص گردید که ارقام دارای عملکرد بیشتر، شاخص برداشت نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن بیشتری داشته است (جدول 7). کارایی مصرف نیتروژن با کارایی جذب، استفاده و بهره‌وری جزئی همبستگی معنی‌داری نشان داد. در این مطالعه سهم کارایی استفاده و کارایی جذب در تغییرات کارایی مصرف نیتروژن بین ارقام تحت بررسی و در تمام سطوح نیتروژن به ترتیب 37 و 79 درصد برآورد شد. اصلاح ارقام گندم در دهه‌های اخیر در ایران منجر به بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن و به‌تبع آن استفاده کارآمد از انواع کودها نگردیده است.

جدول 7- نتایج همبستگی بین صفات ارزیابی شده در گندم

Table 7- Results of correlation between measured traits of wheat

	عملکرد دانه **Grain yield**	عملکرد کاه **Straw yield**	عملکرد بیولوژیک **Biological yield**	شاخص برداشت **HI**	کارایی مصرف **NUE**	کارایی جذب **NUpE**	کارایی استفاده **NUtE**	بهره وری جزئی **PFP**	شاخص برداشت **NHI**
Grain yield	1								
Straw yield	0.76 **	1							
Biological yield	0.89 **	0.97 **	1						
HI	0.27 **	-0.33 **	-0.13 ^{ns}	1					
NUE	0.22 **	-0.9 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.21 **	1				
NUpE	0.17 *	0.3 **	0.3 **	-0.19 *	0.79 **	1			
NUtE	0.05 ^{ns}	-0.57 **	-0.43 **	0.67 **	0.37 **	-0.21 **	1		
PFP	-0.03 ^{ns}	-0.22 **	-0.18 *	0.15 ^{ns}	0.96 **	0.76 **	0.38 **	1	
NHI	0.36 **	-0.18 **	0.002 ^{ns}	0.84 **	0.06 ^{ns}	-0.39 **	0.68 **	-0.01 ^{ns}	1

منابع

Arregui, L.M., and Quemada, M. 2008. Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rain fed conditions. Agronomy Journal 100: 277–284.

Abeledo, L.G., Calderini, D.F., and Slafer, G.A. 2008. Nitrogen economy in old and modemmalting barleys. Field Crop Research 106, 171–178.

Austin, R.B., Bingham, J., Blackwell, R.D., Evans, L.T., Ford, M.A., Morgan, C.L., and Taylor, M. 1980. Genetic improvements in winter wheat yield since 1900 and associated physiological changes. Journal of Agricultural

Science 94: 675-689.

Austin, R.B. 1999. Yield of wheat in the United Kingdom: recent advances and prospects. Crop Science 39: 1604–1610.

Barraclough, P.B., Howarth, J.R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E., and Hawkesford, M.J. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. European Journal of Agronomy 33: 1-11.

Brancourt-Hulmel, M., Doussinault, G., Lecomte, C., Bérard, P., Le Buanec, B., and Trottet, M. 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992 Crop Science 43:37-45

Bulman, P., Mather, D.E., Smith, D.L. 1993. Genetic-improvement of spring barleycultivars grown in eastern Canada from 1910 to 1988. Euphytica 71 (1-2): 35–48.

Cox, T.S., Shroyer, J.P., Ben-Hui, L., Sears, R.G., and Martin, T.J. 1988. Genetic improvement in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. Crop Science 28: 756–760.

Dhugga, K.S., and Waines, J.G. 1989. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. Crop Science 29: 1232–1239.

Dobermann, D.I., and Cassman, K.G. 2004. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production of United States and Asia. Plant and Soil 247: 153-175.

Eickhout, B., Bouwman, A.F., and Van Zeijts, H. 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability Agriculture, Ecosystems and Environment 116: 4–14.

Fisher, R.A., and Wall, P.C. 1976. Wheat breeding in Mexico and yield increases. Science Journal of the Australian Institute of Agricultural 42: 139-148.

Ghandi, A., Afyoni, D., Najafian, G., Vahabzade, M., Akbari, A., Torabi, M., Yazdan Sepas, A., Ghodsi, M., Pirayeshfar, B., Nazeri, M., Amin, H., and Malvordi, G. 2009. Sepahan, a new bread wheat cultivar. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 2 (25): 372-369

Giller, K.E., Chalk, P., Dobermann, A., Hammond, L., Heffer, P., Ladha, J.K., Nyamudeza, P., Maene, L., Ssali, H., and Freney, J. 2004. Emerging technologies to increase the efficiency of use of fertilizer nitrogen. In: Mosier, A.R., Syers, J.K., Freney, J.R. (Eds.), Agriculture and the Nitrogen Cycle. Island Press, Washington, D.C., pp. 35–51.

Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J.W., Heumez, E., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, Griffiths, M.S., Orford, S., Hubbart, S., and Foulkes, M.J. 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. Field Crops Research 123: 139–152

Good, A.G., Shrawat, A.K., and Muench, D.G. 2004. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? Trends in Plant Science 9: 597–605.

Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., and Gallais, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: toward a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. Journal Express of Botany 58 (9): 2369- 2387.

Koocheki, A., Mansori, A., and Khazaei, H.R. 1996. Sustainable Agriculture Systems. Iranian academic center for education culture and research Mashhad, Iran. Pp. 188. (In Persian)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mansory, A., and Moradi, R. 2012. Investigation of flow and nitrogen use efficiency in wheat production and consumption cycles (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in Iran. Journal of Agroecology 4 (3): 192-200. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri, M., and Kiani, M. 2015. Estimating long-term fertilizer demand in Iran griculture. Journal of Agroecology (In Press). (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri, M., Bakhshaie, S., and Davodi, A. 2015. A Meta-analysis on nitrogen fertilizer experiments on cereal crops in Iran. Journal of Agroecology. (In Press). (In Persian with English Summary)

Le Gouis, J., Béghin, D., Heumez, E., and Pluchard, P. 2000. Genetic differencesfornitrogen uptake and nitrogen utilisation efficiencies in winter wheat. European Journal of Agronomy 12: 163–173.

Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J., and Redondo, R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. Field Crops Research 94: 86–97.

Montemuro, F., Maiorana, M., Ferri, D., and Convertini, G. 2006. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and source of N fertilization. Field Crop Research 99: 114-421.

Moll, R.H., Kamprath, E.J., and Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to

efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal 74: 562-564.

Muurinen, S., Slafer, G.A., and Peltonen-Sainio, P. 2006. Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereals under northern conditions. Crop Science 46: 561–568.

Najafian, G., Nikooseresht, R., Khodarahmi, M., Kafashi, A.K., Amini, A., Afshari, F., Malihipour, A., Ahmadi, G.H., Nikooseresht, R., Kafashi, A.K., Amin, H., Zakari, A., Nikzad, A.R., Jafarnezhad, A., Afuni, D., Hassanpour, J., Mohammadi, A.R., Atahossaini, S.M., Nazeri, A., Mirzaie, A., Shourabi, A.A., Shad Mehri, A., Badri, A.R., Momen, A., and Sadeghi, N. 2012. Sirvan, new bread wheat cultivar, tolerant to terminal drought with good bread making quality adapted to irrigate conditions of temperate regions of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 1(1): 1-10.

Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A., 2015. Trend Analysis of Nitrogen Use and Productivity in Cereal Production Systems of Iran. Journal of Agroecology. (In Press). (In Persian with English Summary)

Ortiz–Monasterio, J.I., Sayre, K.D., Rajaram, S., and McMahon, M., 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. Crop Science 37: 898–904

Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare Faizabadi, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati M. 2010. Investigation of nitrogen use efficiency in wheat-based double croppingsystems under different rate of nitrogen and return of crop residue. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Research 3 (3): 125 – 142

Sadras, V.O., and Lawson, C. 2013. Nitrogen and water-use efficiency of Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. European Journal of Agronomy 46: 34-41.

Salvagiotti, F., Castellari, J.M., Miralles, D.J., and Pedro., H.M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research 113: 170–177.

Singh, U. 2005. Integrated nitrogen fertilization for intensive and sustainable agriculture. Journal of Crop Improvement 15: 259-287.

Slafer, G.A., and Andrade, F.H. 1991. Changes In physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Trtiticum Aestivum*) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world. Euphytica 58: 37-49.

Smil, V. 1999. Nitrogen in crop production: An account of global flows. Global Biogeochemical Cycle 13: 647–662.

Sofizadeh, C., Zand, A., Rahimian-e-Mashhadi, H., and Deihimfard, R. 2006. The comparison yield, nitrogen use efficiency and the protein of the seed in modern and old Wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iranian Journal of Agriculture Science 1: 13-20. (In Persian with English Summary)

Sylvester-Bradley, R., and Kindred, D.R. 2009. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. Journal of Experimental Botany 60: 1939–1951.

Van Sanford, D.A., and MacKown, C.T., 1986. Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes. Theoretical and Applied Genetics 72: 158–163.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 655-671

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 671-655

Evaluation of Nitrogen Efficiency for Cereal Crop Cultivars in Iran based on the Historical Course of their Release: 1- Wheat (*Triticum aestivum* L.)

L. Jafari[1], A. Koocheki[2]*and M. Nassiri Mahallati[2]
Submitted: 17-08-2015
Accepted: 21-11-2015

Jafari, L., koocheki, A., and Nassiri-Mahallati, M. 2019. Evaluation of nitrogen efficiency for cereal Crop cultivars in Iran based on the historical course of their release: 1- wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agroecology. 11 (2): 655-671.

Introduction

Yield increase in the second half of the last century was attributed to breeding new high yielding cultivars and use of chemical inputs, particularly nitrogenous fertilizer, where contribution of fertilizers in yield improvement has been reported in the range of 30 to 50 percent. In fact, genetic potential of high yielding cultivars is achieved using sufficient nitrogen supply because canopy development, radiation capture photosynthesis and radiant use efficiency is associated with the amount of nitrogen uptake. In recent years, enhancement of inputs efficiency and in particular chemical fertilizers have been the concern of many scientists, though nitrogen use efficiency has not been the goal of plant breeder in a broader sense. Nitrogen Use Efficiency (NUE), Nitrogen Uptake Efficiency (NU_pE) and Nitrogen Utilization Efficiency (NU_tE) are the main indices normally used to investigate the nitrogen efficiency of plants. However, Nitrogen Harvest Index (NHI), Nitrogen Partial Factor Productivity are also evaluated for this purpose. The aim of the present study was to evaluate all these indices for wheat cultivars released in Iran during the last 60 years to find the trend of changes during the course of their release.

Materials and methods

In order to evaluate the trend of changes of nitrogen efficiency for wheat cultivars during the course of their release, an experiment was conducted in the growth season of 2014-2015 in the experiment farm of faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. The experiment was based on split plot with complete randomized Block design. In this study, treatments included 12 different levels of nitrogen (nitrogen applied from urea 46% N: 0, 100, 200 and 300 kg N ha^{-1}, animal manure: 0, 10, 20 and 30 ton animal manure ha^{-1} which respectively equal with 0, 100, 200 and 300 kg N ha^{-1}, and the combination of both chemical and manure fertilizer with 0:0, 50:5, 100:10 and 150:15 kg.ha^{-1}: ton.ha^{-1} ratios, respectively). These were allocated to the main plots and six wheat cultivars of wheat, Roshan and Tabasi released as very old cultivars, Falat as an old cultivars and Parsi, Sirvan and Sepahan as new ones were allocated to sub plots. Sub plots were 1.5×2 m with three replications.

Results and discussion

Results showed that there was no difference between cultivars in terms of economic yield, nitrogen use efficiency, nitrogen uptake efficiency and nitrogen partial factor productivity except for those of Sirvan which were lower than the others. However, there was difference between cultivars in terms of nitrogen utilization efficiency, nitrogen harvest index, straw yield and biological yield; though no particular then between old and new cultivars in this report. Without considering the type of fertilizers, by increasing nitrogen level from 100 to 300 kg N ha^{-1} nitrogen efficiency indices decreased significantly, so that almost maximum nitrogen efficiency indices obtained with 100 kg N ha^{-1}. In agreement with these results, indicated that nitrogen utilization efficiency and nitrogen harvest index differ between new and old and also between new wheat cultivars, significantly. In contrast with these results, showed that although the new cultivars have significantly higher nitrogen use

---

1- Assistant Professor, Horticultural Science Department, University of Hormozgan and former PhD Student of the Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i2.49170

efficiency than old wheat cultivars, but no significant differences in nitrogen utilization and uptake efficiencies and nitrogen harvest index were observed between under study cultivars. In this study, in all nitrogen levels, and cultivars, nitrogen utilization and uptake efficiencies contribute 37 and 79% in nitrogen use efficiency changes, respectively.

Conclusion

With an increase in fertilizer levels (chemical, manure and combination of both), efficiency indices were reduced, but these reductions were lower when chemical and manure fertilizers were combined and hence more efficient fertilizer use. Results of this study indicated that in recent decades, breeding of wheat cultivar, could not improve nitrogen efficiency indices and subsequently efficient use of fertilizers in Iran.

Keywords: Nitrogen Use Efficiency, Nitrogen Uptake Efficiency, Nitrogen Utilization Efficiency, New and old wheat cultivars